Logótipo de Parceiro

RELATÓRIO DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

relativo à Central de Produção de Vapor e/ou Termofluido

Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética - Portugal Eficiência 2015 (PNAEE)

da empresa

NOME DA EMPRESA INDUSTRIAL

no âmbito da Medida Transversal do PNAEE “Produção de Calor e Frio – Sistemas de Combustão” – *Acção de Promoção da Eficiência Energética em Geradores de Calor*

com o apoio de

Data

Relatório executado por:

Nome(s) do(s) Técnico(s)

(Parceiro**)**

ÍNDICE

Pág.

1. INTRODUÇÃO – ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS DA ACÇÃO

A Directiva nº 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, estipulou a obrigatoriedade dos Estados Membros elaborarem um plano de acção para a eficiência energética, estabelecendo metas de, pelo menos, 1% de poupança de energia por ano até ao final de 2015. Neste contexto, Portugal, com o envolvimento de vários sectores da Administração Pública, empresariais e associativos, preparou o seu Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética – Portugal Eficiência 2015 (PNAEE), que após um processo de consulta pública, foi aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros nº 80/2008, de 20 de Maio.

Este Plano, cuja monitorização é da responsabilidade do Ministério da Economia e da Inovação e que conta com o apoio da DGEG - Direcção-Geral de Energia e Geologia e da ADENE – Agência para a Energia, engloba um conjunto alargado de programas e medidas de melhoria de eficiência energética consideradas fundamentais para que Portugal possa alcançar e suplantar os objectivos fixados no âmbito da referida directiva europeia. Estabelece como meta a alcançar até ao final do período 2008-2015 uma economia de energia global equivalente a cerca de 10% do consumo de energia final registado no País no quinquénio 2001-2005, ou seja, aproximadamente 1792 milhares de toneladas equivalentes de petróleo (tep), sendo a contribuição da Indústria Transformadora para esse valor da ordem dos 23%.

O PNAEE está articulado com o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) e é orientado para a gestão da procura energética. Abrange 4 áreas específicas, objecto de orientações de cariz predominantemente tecnológico – *Transportes*, *Residencial e Serviços*, *Indústria* e *Estado*, além de 3 outras áreas transversais de actuação complementar – *Comportamentos*, *Fiscalidade* e *Incentivos e Financiamento*, englobando cada uma destas áreas um conjunto de programas, que integram de forma coerente um vasto leque de medidas de eficiência energética.

Na área **Indústria**, das várias medidas contempladas sobressaem algumas ditas transversais para o sector industrial, dirigidas a determinados grupos tecnológicos, entre os quais se inclui a *produção de calor e frio*. A presente acção de *Promoção da Eficiência Energética em Geradores de Calor*, em que se inclui o Diagnóstico Energético objecto deste Relatório, enquadra-se na Medida Transversal “Produção de Calor e Frio – Sistemas de Combustão”. Procura-se com medidas deste tipo que o aumento da eficiência energética na indústria transformadora possa ser levado a cabo com uma atitude pró-activa da parte dos industriais para uma adequação efectiva dos seus equipamentos e processos a novas tecnologias e estratégias actualmente disponíveis, pelo que se impõe uma adequada divulgação de boas práticas conducentes a uma melhor gestão da utilização da energia, para além de uma avaliação precisa do

potencial de economia de energia associado a essas “novas” práticas e/ou implementação de tecnologias mais eficientes.

Os conceitos de Utilização Racional de Energia (URE) / Eficiência Energética e Gestão de Energia assumem uma importância crucial nos dias de hoje. Como qualquer outro factor de produção, a energia deve ser gerida contínua e eficazmente. Este aspecto é particularmente relevante face à escalada contínua a que assistimos, desde há algum tempo, dos preços da energia, em consequência do agravamento do preço do petróleo, o que se repercute num peso cada vez mais elevado da factura energética nos custos de exploração das empresas do sector industrial. Neste contexto, cada vez mais esta área da gestão de energia / eficiência energética, tendo em vista a redução de consumos e de custos, ganha uma importância acrescida para a competitividade e, porque não dizer também, sobrevivência da maioria das empresas, qualquer que seja o sector industrial que se considere.

Apesar destas dificuldades, nos casos em que os gestores das empresas decidem implementar programas de melhoria da eficiência energética dos seus equipamentos, os resultados são normalmente reconhecidos e salientados, e as equipas de gestão ficam satisfeitas com a decisão tomada. Alguns países da U.E. têm já alguns programas que focam diversas áreas da eficiência energética e que têm tido algum sucesso em estimular o necessário grau de consideração do problema. Donde se conclui que, a par de uma política energética eficaz e se possível com o apoio de incentivos adequados, campanhas de informação sobre estas matérias deverão contribuir para estimular alterações de práticas e com isso recolherem-se benefícios para a economia e o ambiente, pelo que diagnósticos energéticos como o que é objecto deste Relatório são um instrumento importante nesse sentido, tendo em vista a futura implementação de medidas concretas por parte das empresas que contribuirão para o acréscimo da sua competitividade.

Portanto, a presente acção pretende promover a adopção por parte de empresas industriais de medidas que conduzam a economias de energia numa área – Geradores de Calor (com incidência particular em Caldeiras de Vapor e Caldeiras de Termofluido), que não obstante ser responsável por consumos de energia significativos em determinados subsectores industriais, no que concerne à vertente da eficiência energética / gestão de energia esta é frequentemente negligenciada neste tipo de equipamentos. Na maioria das instalações industriais a exploração dos geradores de calor não é a mais eficiente, o que resulta em rendimentos térmicos inferiores ao que seria razoável, e que tem como consequência maiores consumos de energia e um incremento na emissão de poluentes atmosféricos.

A acção pretende, assim, incentivar as empresas a identificar e concretizar medidas conducentes a reduções dos consumos de energia dos seus geradores de calor e dos respectivos custos de operação, bem como à diminuição de emissões de gases nocivos para o ambiente daí resultantes, e tudo isto sem afectar a

qualidade e fiabilidade destes sistemas energéticos. A sua prossecução passa pela realização de um conjunto de diagnósticos energéticos a diversas empresas de distintos subsectores industriais, tendo em vista a caracterização sob o ponto de vista energético dos geradores de calor que se encontram em funcionamento nas mesmas (incluindo a avaliação dos seus desempenhos através da determinação dos respectivos rendimentos térmicos) e a subsequente identificação do potencial de economia de energia associado a esses equipamentos, não só pela optimização dos respectivos sistemas de queima, mas também pela substituição de alguns desses equipamentos e/ou dos seus acessórios por outros mais eficientes e outros tipos de medidas, que poderão inclusive incluir a substituição de combustíveis.

O **Anexo 1** do presente Relatório sintetiza os tipos de medidas e práticas mais frequentes que podem conduzir a economias de energia na área dos Geradores de Calor, ainda que, como é óbvio, a aplicação de cada uma delas só faça sentido em determinadas situações e a sua análise deva ser feita caso a caso, dependendo das condições de conservação e exploração desses equipamentos apresentadas por cada empresa objecto de diagnóstico.

Nos Capítulos 2 e 3 do Relatório é apresentada toda a informação recolhida no âmbito do Diagnóstico Energético efectuado à empresa em questão, bem como as principais conclusões extraídas dessa análise em termos de potencial de economia de energia identificado / medidas a implementar, por áreas específicas. No que concerne a medidas recomendadas que envolvam investimentos, apenas são consideradas as que apresentam viabilidade económica (tipicamente com períodos de retorno do investimento (*“payback”* simples) até 3 anos e em alguns casos excepcionais até um máximo de 5 anos).

O Capitulo 4 final sintetiza as medidas consideradas com possibilidades de implementação.

2. IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA INDUSTRIAL SELECCIONADA

IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA

Nome da Empresa:

Endereço da Instalação Fabril:

Código Postal:

Concelho: **Distrito:**

Nome/Cargo de Pessoa de Contacto: /

Telefone: **Telefax:**

E-mail: **INTERNET:**

Classificação de actividade económica – CAE – Rev. 3 (5 dígitos)**:**

Principais produtos da Instalação Fabril:

Data de arranque da Instalação Fabril / Central Térmica:

Número de Empregados:

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

Data do diagnóstico:

Técnico(s) Executante(s):

3. CENTRAL TÉRMICA ANALISADA

(Referir em 3-4 linhas a central térmica que foi objecto de análise por via do diagnóstico energético: quantos geradores de calor dispõe, que tipo de geradores são (vapor e/ou termofluido) e quais os que foram considerados na análise efectuada, e quais as principais utilizações do(s) fluido(s) térmico(s) produzido(s) nesse(s) gerador(es)).

3.1. INVENTÁRIO DOS EQUIPAMENTOS ANALISADOS – CARACTERÍSTICAS E CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE ENERGIA

3.1.1. Principais características técnicas do(s) gerador(es) de calor

(Consoante o tipo de fluido térmico produzido (vapor ou termofluido) utilizar a tabela apropriada. No caso de não haver caldeiras para um destes tipos de fluidos, eliminar a tabela correspondente. Para cada tipo de tabela, utilizar tantas colunas de preenchimento de dados consoante o número de caldeiras analisadas).

GERADORES DE VAPOR

CARACTERÍSTICAS	CALDEIRA Nº …	CALDEIRA Nº …
Tipo		
Fabricante		
Modelo		
Ano de fabrico		
Potência nominal (kW) [kcal/h]		
Superfície de aquecimento (m^2)		
Tipo de vapor – Saturado ou Sobreaquecido		
Timbre (bar_{rel})		
Capacidade máx. de produção de vapor (kg/h)		
Taxa de ebulição ($m^3/m^2.s$) (vapor produzido em volume (m^3) por superfície de separação em m^2)		
Tipo de combustível		

GERADORES DE TERMOFLUÍDO

CARACTERÍSTICAS	CALDEIRA Nº …	CALDEIRA Nº …
Tipo		
Fabricante		
Modelo		
Ano de fabrico		
Potência nominal (kW) [kcal/h]		
Superfície de aquecimento (m^2)		
Temperatura máxima do termofluído (ºC)		
Tipo de combustível		

3.1.2. Outros detalhes técnicos do(s) gerador(es) de calor

(a) Condições normais de fluido térmico produzido e outras características - Só para Geradores de Vapor

CARACTERÍSTICAS	CALDEIRA Nº …	CALDEIRA Nº …
Pressão do vapor (bar_{rel})		
Temperatura do vapor (ºC)		
Temperatura da água de alimentação (ºC)		
Área do sobreaquecedor (m^2) (se vapor sobreaquecido)		

(b) Condições normais de fluido térmico produzido - Só para Geradores de Termofluido

CARACTERÍSTICAS	CALDEIRA Nº …	CALDEIRA Nº …
Pressão do termofluido à entrada da caldeira (bar_{rel})		
Pressão do termofluido à saída da caldeira (bar_{rel})		
Temperatura do termofluido à entrada da caldeira (ºC)		
Temperatura do termofluido à saída da caldeira (ºC)		

(c) Tipo* e posição** de câmara(s) de combustão

CARACTERÍSTICAS	CALDEIRA Nº …	CALDEIRA Nº …
Quantas câmaras de combustão existem?		
Tipo - Fornalha *		
Tipo - Tubo de fogo *		
Tipo - Câmara de combustão tubular *		
Posição da(s) câmara(s) ** – interior (INT) ou exterior (EXT)		

* Por caldeira analisada, indicar o tipo de câmara(s) de combustão de que dispõe de entre as opções possíveis: assinalar com **X** a opção que se verifica;
** Relativamente à posição da(s) câmara(s) de combustão, indicar a solução existente (**INT** ou **EXT**).

(d) Número de passagens dos gases de combustão e tipo de câmara(s) de inversão

CARACTERÍSTICAS	CALDEIRA Nº …	CALDEIRA Nº …
Número de passagens		
Câmara(s) de inversão existente(s)? (responder **Sim** ou **Não**)		
Havendo mais do que uma câmara de inversão, são separadas ou comuns?		
Tipo de câmara de inversão - molhada *		
Tipo de câmara de inversão - seca *		
Tipo de câmara de inversão - parcialmente seca *		

* Por caldeira analisada, indicar o tipo de câmara(s) de inversão de que dispõe, se existente(s), de entre as opções possíveis: assinalar com **X** a opção que se verifica.

(e) Posição e conteúdo dos tubos *

CARACTERÍSTICAS	CALDEIRA Nº …	CALDEIRA Nº …
Posição - Horizontais		
Posição - Inclinados		
Posição - Verticais		
Conteúdo – Tubos de fumo		
Conteúdo – Tubos de água		
Conteúdo – Tubos de óleo		

* Por caldeira analisada, indicar o tipo de posição e de conteúdo dos tubos, de entre as opções possíveis: assinalar com **X** a opção que se verifica.

(f) Tipos de isolamento e de protecção exterior e respectivos estados de conservação

CARACTERÍSTICAS	CALDEIRA Nº …	CALDEIRA Nº …
Isolamento em tijolos refractários ou isolantes *		
Isolamento em lã mineral *		
Isolamento em lã de vidro *		
Protecção em chapa de alumínio *		
Protecção em chapa de aço galvanizado *		
Protecção em chapa de zinco *		
Outro tipo de protecção exterior * - Especificar		
Temperatura média das paredes (ºC)		

* Por caldeira analisada, indicar o tipo de isolamento térmico e o tipo de protecção exterior que apresenta: assinalar com **X** a opção que se verifica.

3.1.3. Equipamento auxiliar

(a) Equipamento de queima

CARACTERÍSTICAS	CALDEIRA Nº …	CALDEIRA Nº …
Grelha fixa direita *		
Grelha fixa inclinada *		
Grelha mecânica rotativa *		
Grelha mecânica oscilante *		
Grelha mecânica – Parafuso sem-fim *		
Queimador *		
CARACTERÍSTICAS DO QUEIMADOR se for este o equipamento de queima		
Marca		
Modelo		
Ano		
Tipo de queimador - De pulverização por centrifugação (copo rotativo) * - De pulverização mecânica * - De pulverização por injecção de vapor * - De pulverização por injecção de ar * - De outro tipo - especificar		
Potência térmica (kW$_t$) [kcal/h $_t$]		
Consumo *mínimo – máximo* de combustível (kg/h)		
Potência do motor do ventilador (kW$_m$)		
Potência de resistências eléctricas (kW$_e$)		
Tipo de funcionamento / regulação automática		
“Um estágio” (“Tudo ou Nada”) *		
Temp. (ºC) ou pressão (bar$_{rel}$) de arranque / Temp. (ºC) ou pressão (bar$_{rel}$) de paragem	/	/
“Dois estágios” *		
Temperatura (ºC) ou pressão (bar$_r$) de arranque da: 1ª chama / 2ª chama	/	/
Temperatura (ºC) ou pressão (bar$_{rel}$) de paragem		
“Três estágios” *		
Temp.(ºC) ou préssão(bar$_r$) de arranque da: 1ª chama / 2ª chama / 3ª chama	/ /	/ /
Temperatura (ºC) ou pressão (bar$_{rel}$) de paragem		
“Modulante” *		
Temp. (ºC) ou pressão (bar$_{rel}$) de arranque / Temp. (ºC) ou pressão (bar$_{rel}$) de paragem	/	/
Pressão (bar$_{rel}$) / Temperatura (ºC) do combustível	/	/

* Para os itens assinalados com este símbolo, indicar com **X** a opção que se verifica.

(b) Armazenagem e alimentação de combustível

CARACTERÍSTICAS	CALDEIRA Nº …	CALDEIRA Nº …
Assinalar com **X** o **Tipo de combustível** utilizado no gerador de calor **Combustível sólido** - Lenha - Carrasca - Briquetes - Estilha - Serrim - Bagaço de azeitona - Coque de petróleo - Outro (especificar) **Combustível líquido** - Gasóleo - "Thick" fuelóleo - "Thin" fuelóleo - Outro (especificar) **Combustível gasoso** - GPL (Propano) - Gás natural - Outro (especificar)		
Poder Calorífico Inferior do combustível utilizado (kJ/kg)		
Teor médio de humidade (% em peso) (só para combustíveis sólidos)		
Custo unitário do combustível à data do diagnóstico (EUR/kg)		
Tipos de armazenagem, tratamento e alimentação do combustível		
Se combustível sólido - Capacidade de armazenagem (t)		
- Tipo de tratamento prévio (p. ex., secagem)		
- Tipo de alimentação ao gerador de calor		
- Consumo médio por gerador (kg/h)		
Se combustível líquido - Número e capacidade de tanques de armazenagem (m^3)	x m^3	x m^3
- Tipo de aquecimento nesse(s) tanque(s) • Por resistência eléctrica * • Por fluido térmico (vapor) * • Por fluido térmico (outro que não vapor) *		
- Temperatura de armazenagem/aquecimento no(s) tanque(s) (ºC)		
- Temperatura de bombagem (ºC) (na alimentação ao(s) geradore(s)) / Tipo de aquecimento utilizado nas tubagens de distribuição		
- Temp. (de atomização) no queimador (ºC) nos regimes máximo e mínimo / Tipo de aquecimento		
- O fornecedor de combustível indica a viscosidade em cada fornecimento? E a temperatura de atomização é corrigida em função dessa informação?		
- Tipo de bombas utilizadas na bombagem de combustível	Vide item seguinte	Vide item seguinte
- Estado de isolamento térmico de tanque(s) de armazenagem e tubagens de distribuição até ao(s) geradore(s). Se não existir isolamento térmico ou este estiver em mau estado de conservação, indicar valores de temperaturas médias medidas nas respectivas superfícies (**T** – tanque(s) e **Tub** – linha(s) de distribuição)		
- Consumo médio por gerador (kg/h)		

***** Para os itens assinalados com este símbolo, indicar com **X** a opção que se verifica.

Armazenagem e alimentação de combustível (continuação)

CARACTERÍSTICAS	CALDEIRA Nº …	CALDEIRA Nº …
Tipos de armazenagem, tratamento e alimentação do combustível		
Se combustível gasoso		
- Número e capacidade de tanques de armazenagem (m^3), se existentes	x m^3	x m^3
- Se GPL (propano), capacidade do vaporizador (kg/h)		
- Se Gás Natural, qual o tipo de fornecimento – por gasoduto ou UAG?		
- Consumo médio por gerador (kg/h) (Nota: No caso de Gás Natural, dado que o abastecimento é facturado em metros cúbicos, utilizar como massa específica 0,8404 kg/Nm^3)		

(c) Bombas (para combustíveis líquidos, água de alimentação (só Geradores de Vapor) e termofluido (só Geradores de Termofluido))**, Ventiladores** (para **ar de combustão e gases de combustão) e Outros Equipamentos consumidores de energia eléctrica** (para alimentação de combustíveis sólidos, etc.)

CARACTERÍSTICAS	CALDEIRA Nº …	CALDEIRA Nº …
Bombas		
Electro-bombas para combustível líquido - Quantidade		
- Tipo (centrífuga mono / multicelular, engrenagens exteriores, etc.)		
- Potência de cada bomba (kW_m)		
- Principais características hidráulicas da(s) bomba(s)		
Electro-bombas para água de alimentação - Quantidade		
- Tipo (centrífuga mono / multicelular, alternativa, etc.)		
- Potência de cada bomba (kW_m)		
- Principais características hidráulicas da(s) bomba(s)		
Electro-bombas para termofluido		
- Quantidade		
- Tipo (centrífuga, etc.)		
- Potência de cada bomba (kW_m)		
- Principais características hidráulicas da(s) bomba(s)		
Ventiladores		
De ar de combustão		
- Quantidade		
- Tipo (centrífugo, axial)		
- Potência do ventilador (kW_m)		
De gases de combustão		
- Quantidade		
- Tipo (centrífugo, axial)		
- Potência do ventilador (kW_m)		
Outros equipamentos		
Designação / Função		
- Quantidade		
- Tipo		
- Potência por equipamento (kW_m)		
Designação / Função		
- Quantidade		
- Tipo		
- Potência por equipamento (kW_m)		

(d) Desgaseificador (só para Geradores de Vapor)

Indicar

- Tipo:
- Pressão de funcionamento:
- Tipo de controlo de pressão e nível (ON/OFF ou modulante, por pressão ou por temperatura):
- Cota a que está colocado e distância até à(s) caldeira(s)?
- Existem obstáculos ao fluxo, como por exemplo filtros, válvulas de globo, contadores de água mecânicos, etc.? Em caso afirmativo, especifique:

(e) Pré-aquecedores de ar de combustão e Economizadores

CARACTERÍSTICAS	CALDEIRA Nº …	CALDEIRA Nº …
Pré-aquecedor de ar		
O gerador está equipado com este sistema?		
Em caso afirmativo, indicar: **- Temperatura dos fumos à entrada do pré-aquecedor (ºC)**		
- Temperatura dos fumos à saída do pré-aquecedor (ºC)		
- Temperatura do ar de combustão à entrada do pré-aquecedor (ºC)		
- Temperatura do ar de combustão à saída do pré-aquecedor (ºC)		
- Área de permuta de calor (m^2)		
- Potência (kW_t) [$kcal/h_t$]		
- Tipo de permutador (feixe tubular, serpentina tubular, roda térmica)		
- Modo de permuta (equicorrente, contracorrente, correntes cruzadas simples, correntes cruzadas com várias passagens)		
- Tipo de material do permutador (vidro, aço, aço inoxidável)		
Economizador de Gerador de Vapor		
O gerador está equipado com este sistema?		
Em caso afirmativo, indicar: **- Temperatura dos fumos à entrada do economizador (ºC)**		
- Temperatura dos fumos à saída do economizador (ºC)		
- Temp. da água de alimentação à entrada do economizador (ºC)		
- Temp. da água de alimentação à saída do economizador (ºC)		
- Área de permuta de calor (m^2)		
- Potência (kW_t) [$kcal/h_t$]		
- Tipo de permutador (feixe tubular, serpentina tubular, roda térmica)		
- Modo de permuta (equicorrente, contracorrente, correntes cruzadas simples, correntes cruzadas com várias passagens)		
- Tipo de material do permutador (vidro, aço, aço inoxidável)		
Economizador de Gerador de Termofluido		
O gerador está equipado com este sistema?		
Em caso afirmativo, indicar: **- Temperatura dos fumos à entrada do economizador (ºC)**		
- Temperatura dos fumos à saída do economizador (ºC)		
- Temperatura do termofluido à entrada do economizador (ºC)		
- Temperatura do termofluido à saída do economizador (ºC)		
- Área de permuta de calor (m^2)		
- Potência (kW_t) [$kcal/h_t$]		
- Tipo de permutador (feixe tubular, serpentina tubular, roda térmica)		
- Modo de permuta (equicorrente, contracorrente, correntes cruzadas simples, correntes cruzadas com várias passagens)		
- Tipo de material do permutador (vidro, aço, aço inoxidável)		

(f) Tipo de chaminé

CARACTERÍSTICAS	CALDEIRA Nº …	CALDEIRA Nº …
Tipo de saída dos fumos do gerador		
Para cima *		
Na horizontal *		
Para baixo *		
Tipo de isolamento térmico		
Lã de vidro *		
Lã mineral *		
Tipo de protecção exterior		
Chapa de alumínio *		
Chapa zincada *		
Chapa de aço galvanizado *		
Tiragem		
Natural *		
Forçada *		
Potência do motor eléctrico (kW_m)		
Regulador de Tiragem (*Damper*)		
Automático (*tudo / nada*) *		
Automático (*modulante*) *		
Manual *		
Filtros		
Ciclone *		
Manta de fios metálicos *		
Manta de fios sintéticos *		
Tecido *		
Esponja *		
Precipitador electrostático *		
Material de construção		
Aço *		
Aço pré-fabricado *		
Tijolo *		

* Para os itens assinalados com este símbolo, indicar com **X** a opção que se verifica.

3.1.4. Informação específica de Geradores de Vapor

CARACTERÍSTICAS	CALDEIRA Nº …	CALDEIRA Nº …
Tratamento de água		
Qual a origem da água de alimentação?		
Qual o tratamento externo utilizado (Ex.: processo de precipitação, permuta iónica, desgasificação, filtração)?		
Qual o tratamento interno (aplicação de aditivos / produtos químicos) utilizado?		
Que tipo de análises físico-químicas são efectuadas e com que periodicidade? Apresente os resultados da última análise efectuada, com indicação dos valores de todos os parâmetros medidos (incluindo unidades).		

No relatório dessa última análise efectuada foi incluído algum tipo de observações / recomendações sobre os resultados obtidos e alterações de procedimentos a adoptar?		
Água de alimentação		
Dimensões do tanque de água de alimentação		
Esse tanque está isolado termicamente? Se sim, qual o tipo de isolamento que apresenta?		
Temp. média da superfície das paredes do tanque (ºC)		
Temperatura da água (ºC)		
Caudal (l/h)		
Teor de TSD – Total de sólidos dissolvidos (ppm de …)		
Tipo de regulação de caudal – *tudo/nada*, **ou** *modulante*?		
Água de compensação ("make-up")		
Caudal (l/h)		
Temperatura (ºC)		
Teor de TSD – Total de sólidos dissolvidos (ppm de …)		
Origem da água? – Rede, furo, rio, outra (especificar).		
Condensados		
Caudal (l/h) ou % de retorno (1)		
Temperatura (ºC)		
Teor de TSD – Total de sólidos dissolvidos (ppm de …)		
Purgas		
Tipo de purga: intermitente ou contínua (2) **?**		
Se intermitente, indicar - Número de purgas diárias - Caudal de cada descarga (l/s) - Diâmetro da tubagem de purga (mm)		
Se contínua, indicar - Caudal (l/h) - Existe sistema de recuperação de calor? Se sim, descrever sucintamente o sistema, indicando temperaturas e caudais dos fluidos.		
Indicador de desempenho		
Taxa de evaporação (kg de vapor produzido/ kg de combustível) (3)		

NOTAS:

Atendendo às designações das análises de águas

$(TSD)_{AB}$ = Total de sólidos dissolvidos na água bruta ("make-up")

$(TSD)_{FW}$ = Total de sólidos dissolvidos na água de alimentação das caldeiras

$(TSD)_{C}$ = Total de sólidos dissolvidos nos condensados (assumindo-se como a média dos valores de TDS das diferentes linhas de condensados)

$(TSD)_{BD}$ = Total de sólidos dissolvidos na purga

alguns dos parâmetros referidos no Quadro anterior podem ser calculados a partir dos resultados dessas análises, na impossibilidade daqueles serem determinados por outra via, tal como se indica a seguir:

(1) A **percentagem de retorno de condensados** (C) pode ser calculada pela expressão

$$C = 1 - (TSD)_{FW} / (TSD)_{AB}$$

(a partir de um balanço ao TSD e considerando que $(TSD)_C = 0$)

(2) A **percentagem de purga** (X) pode ser calculada pela expressão

$$X = (Q_{BD}/Q_{FW}) \times 100\% = ((TSD)_{FW} / (TSD)_{BD}) \times 100\%$$

em que o caudal de purga (Q_{BD}) pode ser determinado a partir do conhecimento do valor do diâmetro da tubagem de purga, da pressão da caldeira em funcionamento, do número de purgas diárias e da duração de cada purga. E o caudal de água de alimentação pode ser determinado a partir de

$$Q_{FW} = Q_{BD} \times ((TSD)_{BD} / (TSD)_{FW})$$

(3) **Taxa de evaporação** = (Caudal de água de alimentação – Caudal de purga) / Caudal de combustível

Em última análise, pode considerar-se aproximadamente igual à relação (Caudal de água) / (Caudal de combustível)

3.1.5. Instrumentação e controlos

(a) Aplicável a Geradores de Vapor (NOTA: Para os itens existentes, assinalar com X).

PARÂMETROS	CALDEIRA Nº …	CALDEIRA Nº …
GERADOR DE VAPOR		
Indicador da pressão do vapor		
Indicador de TSD / condutividade		
Indicadores de nível da água		
Arrefecedor de amostras de água		
Controlos		
- De nível de água		
Por sonda		
Por bóia		
Tudo / nada (controlo das bombas)		
Modulantes (controlo das bombas)		
Válvula sequencial de purga		
- De pressão de vapor		
Pressostato de máxima		
Pressostato de mínima		
Válvula de segurança		
Contra-peso		
Mola		
Contador de vapor		
Orifício calibrado		
Vortex		
Área variável		
Contador de água de alimentação		
Existindo contador, de que tipo é (mecânico, electromagnético, …)?	Responder sem ser com X	Responder sem ser com X
E qual é a sua colocação na instalação (antes ou após a bomba)?	Responder sem ser com X	Responder sem ser com X
CHAMINÉ		
Indicador de temperatura dos fumos		
Indicador do teor de O_2 nos fumos		
Indicador do teor de CO_2 nos fumos		
Indicador do teor de CO nos fumos		
Indicador do índice de opacidade dos fumos		
EQUIPAMENTO DE QUEIMA		
Indicador de pressão do combustível		
Indicador de temperatura do combustível		
Detector de fuga de gás		
Contador de horas de funcionamento		
Regulação do excesso de ar		
Manual		
Automática		
Contador de combustível		
Instantâneo		
Totalizador		
Correcção pela pressão		
Correcção pela temperatura		
DEPÓSITO / RESERVATÓRIO DE COMBUSTÍVEL		
Indicador de pressão do combustível		
Indicador de temperatura do combustível		
Indicador de nível / volume		
ÁGUA DE COMPENSAÇÃO		
Indicador de condutividade		
Contador de água		
ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO		
Tanque de condensados		
Indicador de nível		
Indicador de temperatura		
Desgaseificador		
Indicador de pressão de funcionamento		
Indicador de temperatura		
Indicador de nível		

PRÉ-AQUECEDOR DE AR DE COMBUSTÃO		
Indicador de temperatura do ar à entrada		
Indicador de temperatura do ar à saída		
Indicador de temperatura dos fumos à entrada		
Indicador de temperatura dos fumos à saída		
ECONOMIZADOR		
Indicador de temperatura da água à entrada		
Indicador de temperatura da água à saída		
Indicador de temperatura dos fumos à entrada		
Indicador de temperatura dos fumos à saída		

(b) Aplicável a Geradores de Termofluido

(NOTA: Para os itens existentes, assinalar com **X)**.

PARÂMETROS	CALDEIRA Nº …	CALDEIRA Nº …
GERADOR DE TERMOFLUIDO		
Indicador da pressão de entrada do termofluido		
Indicador da pressão de saída do termofluido		
Indicador da temperatura de entrada do termofluido		
Indicador da temperatura de saída do termofluido		
Controlos		
Pressostato de máxima		
Pressostato diferencial		
Termóstato de segurança		
Termóstato de comando do queimador		
Contador de termofluido (energia)		
CHAMINÉ		
Indicador de temperatura dos fumos		
Indicador do teor de O_2 nos fumos		
Indicador do teor de CO_2 nos fumos		
Indicador do teor de CO nos fumos		
Indicador do índice de opacidade dos fumos		
EQUIPAMENTO DE QUEIMA		
Indicador de pressão do combustível		
Indicador de temperatura do combustível		
Detector de fuga de gás		
Contador de horas de funcionamento		
Regulação do excesso de ar		
Manual		
Automática		
CONTADOR DE COMBUSTÍVEL		
Instantâneo		
Totalizador		
Correcção pela pressão		
Correcção pela temperatura		
DEPÓSITO / RESERVATÓRIO DE COMBUSTÍVEL		
Indicador de pressão do combustível		
Indicador de temperatura do combustível		
Indicador de nível / volume		
PRÉ-AQUECEDOR DE AR DE COMBUSTÃO		
Indicador de temperatura do ar à entrada		
Indicador de temperatura do ar à saída		
Indicador de temperatura dos fumos à entrada		
Indicador de temperatura dos fumos à saída		
ECONOMIZADOR		
Indicador de temperatura do termofluido à entrada		
Indicador de temperatura do termofluido à saída		
Indicador de temperatura dos fumos à entrada		
Indicador de temperatura dos fumos à saída		

3.1.6. Regime de funcionamento da(s) Caldeira(s)

TIPO DE FUNCIONAMENTO	CALDEIRA Nº …	CALDEIRA Nº …
Contínuo *		
Descontínuo *		
Número de horas de funcionamento		
Por dia (h)		
Por semana (h)		
Por ano (h)		

***** Para os itens assinalados com este símbolo, indicar com **X** a opção que se verifica.

3.1.7. Manutenção e operação

(a) É feita manutenção preventiva das caldeiras?

Se sim, descrever a periodicidade e tipo de manutenção:

(b) Existe um controlo regular do funcionamento das caldeiras? E esse controlo inclui a elaboração de registos?

Especificar:

3.1.8. Ficha de Ensaios por Gerador (que inclui **Análise da Combustão / Determinação do Rendimento Térmico**)

(A presente Ficha deverá ser preenchida para cada Gerador de Calor analisado e a maioria dos dados que comporta deverá ser o resultado de medições a efectuar)

CALDEIRA Nº ……			
Dados recolhidos sobre o COMBUSTÍVEL			
Tipo de combustível:			
Composição ponderal típica (nas condições de queima) em termos de: **- Carbono (%)** **- Hidrogénio (%)** **- Humidade (%)**			
Poder Calorífico Inferior (kJ/kg ou MJ/Nm^3 (só nestas unidades para Gás Natural)**) :**			
Temperatura nas condições de queima (ºC) :			
Caudal (kg/h ou Nm^3/h (só nestas unidades para Gás Natural)**)**			
Dados relativos ao AR			
- Temperatura ambiente (ºC): **- Temperatura de alimentação ao Gerador (ar de combustão) (ºC):**			
Dados referentes ao FLUIDO do Gerador			
- Para Geradores de Vapor			
ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO **- Temperatura da água de alimentação (ºC):** **- Caudal de água de alimentação (kg/h)** (se for possível a sua determinação)**:**			
VAPOR **- Carga estimada do Gerador durante o diagnóstico (% da capacidade máx.):** **- Tipo de vapor produzido – saturado ou sobreaquecido** **- Título de vapor (se não sobreaquecido)** **- Pressão relativa (bar):** **- Temperatura (ºC):** **- Caudal (kg/h)** (se for possível a sua determinação)**:** **- Energia contida acima da temperatura da água de alimentação (kJ/kg):**			
- Para Geradores de Termofluido			
TERMOFLUIDO **- Temperatura à saída do Gerador:** **- Temperatura à entrada do Gerador (ºC):** **- Caudal (kg/h)** (se for possível a sua determinação)**:**			
ANÁLISE DA COMBUSTÃO - GASES DE COMBUSTÃO *			
	Chama Mínima	Chama Média	Chama Máxima
- Tempo de funcionamento de cada chama (%)			
- Temperatura de saída dos gases (ºC):			
- Composição dos gases de combustão:			
• **Teor de O_2 (%)**			
• **Teor de CO_2 (%)**			
• **Teor de CO (ppm)**			
• **Índice de opacidade (nº)** (se se justificar medição de tal parâmetro)**:**			

Ficha de Ensaios por Gerador (continuação)

CALDEIRA Nº ……			
ANÁLISE DA COMBUSTÃO (contin.)			
	Chama Mínima	**Chama Média**	**Chama Máxima**
Excesso de ar de combustão (%) (determinado a partir da composição dos gases de comb.):			
RENDIMENTO TÉRMICO (base PCI)			
Cálculo pelo Método Directo = η = (Energia útil / Energia do combustível) x 100 (%) (opcional) **			
Cálculo pelo Método das Perdas = η = 100 – (somatório de todas as perdas) (%) (opcional) ** (com cálculo das várias perdas a seguir discriminado, usando equações apresentadas no Anexo 2)			
	Chama Mínima	**Chama Média**	**Chama Máxima**
P_{cv} = Perdas associadas ao combustível nas cinzas volantes (%) (p/ combustível sólido)			
P_{cf} = Perdas associadas ao combustível nas cinzas de fundo (%) (p/ combustível sólido)			
P_{gc} = Perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão (%)			
P_{H2O} = Perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases de combustão (%)			
P_{H2O} = Perdas associadas à inqueimados nos gases de combustão (%)			
P_P = Perdas associadas às purgas (%) (apenas aplicáveis às caldeiras de vapor)			
P_r = Perdas por radiação, convecção e outras perdas não-contabilizáveis (%)			
TOTAL DE PERDAS (%)			
Rendimento Térmico em cada Chama (%) = 100 - Σ Perdas			
Cálculo por outra via alternativa (*software* específico, etc.) (opcional) **			
CUSTO DO FLUIDO TÉRMICO PRODUZIDO NO GERADOR			
Custo / tonelada de vapor (EUR/t) (apenas aplicável às caldeiras de vapor)			
Custo / Giga-Joule de energia útil para aquecimento do termofluido (EUR/GJ) (apenas aplicável às caldeiras de termofluido)			

NOTAS:

* O ensaio ao gerador (em termos de análise de combustão) deverá ser realizado para cada chama de funcionamento do mesmo.

** O cálculo do rendimento térmico do gerador pode ser efectuado por qualquer dos Métodos indicados na Tabela, ou por um qualquer outro processo alternativo, por exemplo por recurso a determinado *software* específico (e se for este o caso, apresentar esse cálculo em Anexo próprio). O valor determinado por uma das vias deverá, no mínimo, ser indicado na Tabela. No caso do rendimento ser determinado pelo Método das Perdas, o valor a indicar (na coluna única) deverá ser a média ponderada dos rendimentos obtidos para os vários regimes (chamas) de funcionamento do gerador.

3.2. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA

3.2.1. Medidas de optimização das condições de operação e manutenção dos geradores

(*Comentar sobre condições encontradas e consideradas não satisfatórias no que respeita à operação e manutenção dos geradores de calor analisados e recomendar possíveis medidas a implementar para obviar essas situações que poderão conduzir a economias de energia. Neste item deverão apenas ser contemplados aspectos considerados mais de "boa gestão energética", não necessariamente envolvendo investimentos significativos, como por exemplo acções relacionadas com a condução dos geradores, a regulação da combustão e limpeza de tubulares, a implementação de práticas de registos, a necessidade de melhorar o tratamento de água (em caldeiras de vapor), etc.*).

(No final do item deverá aparecer um pequeno Quadro resumo das medidas recomendadas como se indica a seguir)

Quadro 3.2.1 - Potencial de economia de energia / Medidas a implementar

Medida(s) de economia de energia proposta (s)	**Economia anual de combustível**			**Investimento**	**“Payback”**
	em Consumo		**em Custos**	**(EUR)**	**(anos)**
	(t/ano)	**(GJ/ano)**	**(EUR/ano)**		
Ex.: Regulação da combustão da Caldeira 1					
TOTAL					

3.2.2. Medidas de investimento médio envolvendo tecnologias mais eficientes

(Neste item do Relatório deverão ser recomendadas medidas, se se justificarem, dos tipos a seguir indicados:

- instalação de queimadores mais eficientes;

- implementação de sistemas de recuperação de calor – pré-aquecedores de ar (por via da recuperação de calor dos gases de combustão do gerador de calor para pré-aquecimento do respectivo ar de combustão), economizadores (por via da recuperação de calor dos gases de combustão do gerador de calor para pré-aquecimento da água de alimentação (em geradores de vapor) ou do termofluido (em geradores de termofluido), instalação de sistemas de purga contínua (em geradores de vapor) com recuperação de calor (instalação de permutador de calor entre a purga da água da caldeira e outros fluidos, tais como a água de alimentação da caldeira, ar de combustão, etc.);

- instalação de sistemas de controlo do oxigénio nas caldeiras;

- etc.)

(No final do item deverá aparecer um pequeno Quadro resumo das medidas recomendadas como se indica a seguir)

Quadro 3.2.2 - Potencial de economia de energia / Medidas a implementar

Medida(s) de economia de energia proposta (s)	**Economia anual de combustível**			**Investimento**	**"Payback"**
	em Consumo		**em Custos**	**(EUR)**	**(anos)**
	(t/ano)	**(GJ/ano)**	**(EUR/ano)**		
Ex.: Instalação de economizador na caldeira 2					
TOTAL					

3.2.3. Outras medidas de investimento médio

(*Neste item do Relatório deverão ser recomendadas medidas, se se justificarem, que poderão não ter necessariamente a haver directamente com os geradores de calor, mas que têm lugar* ***na Central Térmica*** *onde se localizam os geradores analisados e que têm repercussões nos consumos energéticos daqueles equipamentos. São exemplos desse tipo de medidas as seguintes:*

- *instalação de isolamento térmico em colectores de vapor;*
- *instalação de isolamento térmico em tanques de armazenagem e/ou em tubagens de distribuição de fuelóleo;*
- *instalação de determinado tipo de aquecedores* (só para linhas de fuelóleo);
- instalação de isolamento térmico em tanques de condensados e/ou de água de alimentação de geradores de vapor;
- instalação de isolamento térmico em tubagens com fluidos quentes (condensados, água de alimentação, vapor, termofluido) e/ou em válvulas e flanges situadas nessas linhas e que se encontrem por isolar;
- eliminação de fugas de vapor;
- substituição / melhoria do funcionamento de purgadores de vapor;
- utilização de sopradores de ar em vez de injectores de vapor em caldeiras com queima de combustíveis sólidos;
- aquisição de instrumentação (contadores de água, de combustível, de vapor, etc.; indicadores de temperatura; …)
- etc.)

(No final do item deverá aparecer um pequeno Quadro resumo das medidas recomendadas como se indica a seguir)

Quadro 3.2.3 - Potencial de economia de energia / Medidas a implementar

Medida(s) de economia de energia proposta (s)	**Economia anual de combustível**			**Investimento**	**“Payback”**
	em Consumo		**em Custos**	**(EUR)**	**(anos)**
	(t/ano)	**(GJ/ano)**	**(EUR/ano)**		
Ex.: Instalação de isolamento térmico no tanque de condensados					
TOTAL					

3.2.4. Medidas de maior investimento envolvendo substituição de combustíveis e/ou de caldeiras

(*Neste item do Relatório poderão ser recomendadas medidas como as referidas no título – substituição de combustíveis e/ou caldeiras, desde que tal se justifique).*

(No final do item deverá aparecer um pequeno Quadro resumo das medidas recomendadas como se indica a seguir)

Quadro 3.2.4 - Potencial de economia de energia / Medidas a implementar

Medida(s) de economia de energia proposta (s)	**Economia anual de combustível**			**Investimento**	**"Payback"**
	em Consumo		**em Custos**	**(EUR)**	**(anos)**
	(t/ano)	**(GJ/ano)**	**(EUR/ano)**		
Ex.: Instalação de isolamento térmico do tanque de condensados					
TOTAL					

4. CONCLUSÕES

(*Este item final do Relatório, como o título indica, deverá constituir uma síntese das principais conclusões retiradas do diagnóstico efectuado, em termos de medidas recomendadas que podem conduzir a economias de energia nos geradores de calor analisados. Não deverá exceder 2 páginas, já com o Quadro seguinte incluído. Este Quadro será a compilação da informação incluída nos Quadros anteriores 3.2.1 a 3.2.4).*

No Quadro seguinte resumem-se as medidas conducentes a economias de energia e de custos identificadas no decurso do diagnóstico efectuado.

Quadro 4 – Resumo das potenciais economias

Medida(s) de economia de energia proposta (s)	Economia anual de combustível			Investimento	"Payback"
	em Consumo		em Custos	(EUR)	(anos)
	(t/ano)	(GJ/ano)	(EUR/ano)		
TOTAL					

ANEXO 1 – MEDIDAS TÍPICAS DE ECONOMIA DE ENERGIA EM GERADORES DE CALOR

A produção e distribuição de fluidos térmicos (vapor, água quente e termofluido) é um serviço auxiliar que é frequente encontrar-se em instalações fabris de diversos subsectores industriais. Estes fluidos, produzidos em geradores próprios (caldeiras) de diversos tipos que podem consumir vários tipos de combustíveis (sólidos, líquidos ou gasosos), são sobretudo utilizados como meio de aquecimento, quer em equipamentos de processo (por exemplo, de secagem), quer em baterias de aquecimento do ambiente.

Portanto, a produção de energia térmica por via deste tipo de serviço auxiliar caracteriza-se pelo processo de combustão que se verifica no gerador com um dado rendimento, sendo em seguida a energia transportada através dum dos fluidos intermediários referidos, ao longo de tubagens até aos equipamentos utilizadores. Neles se processa uma segunda permuta entre a energia contida no fluido intermediário e o meio a aquecer. Na maior parte dos casos aquele deve ainda regressar ao gerador, permitindo assim aproveitar a energia que ainda contém e o próprio meio que foi aquecido pode por vezes ainda ceder parte da energia que recebeu.

O tipo de fluido intermediário a ser usado depende entre outros factores da sua utilização específica e do nível de temperatura desejada. Assim, a optimização energética deste tipo de sistema de produção, distribuição e utilização, corresponde à optimização das seguintes parcelas:

- Regulação da combustão de modo a que o rendimento na produção de energia térmica seja o maior possível;
- Isolamento das tubagens de forma a diminuir a perda de energia no transporte;
- Melhoria da transferência de calor entre o fluido intermediário e o fluido a aquecer, diminuindo as perdas por falta de isolamento, evaporação, mau funcionamento de purgadores, etc.;
- Recuperação sempre que possível da energia contida no fluido intermediário após a utilização, que deve regressar de novo ao gerador;
- Aproveitamento sempre que possível da energia contida no meio que for aquecido.

O vapor é sem dúvida o fluido térmico mais utilizado na indústria, podendo ser produzido em duas situações: (a) Vapor Saturado – utilizado em aquecimento industrial e central, e em que o vapor cede o seu calor de condensação a temperatura constante; e, (b) Vapor Sobreaquecido – utilizado fundamentalmente na produção de energia eléctrica e por vezes também em aquecimento. O vapor pode, por outro lado, ser utilizado em duas situações típicas: quer como vapor directo no aquecimento ou em processo, quer indirectamente em serpentinas e outro equipamento.

O vapor saturado é um excelente meio de transferência de calor, cedendo a temperatura constante grandes quantidades de calor por cada quilograma. Apresenta no entanto duas desvantagens principais:

- Os condensados devem ser separados do vapor (através de purgadores) e retornar ao gerador, caso contrário verificam-se perdas energéticas importantes;
- Vapor saturado a altas temperaturas corresponde a altas pressões, com os respectivos custos de investimento e de operação a pesarem significativamente.

A 1ª desvantagem pode ser ultrapassada com a utilização de água quente a alta pressão e ambas as desvantagens podem ser ultrapassadas com o uso de “termofluidos” apropriados. Contudo, também estas alternativas têm alguns

inconvenientes, já que no caso da água quente sobreaquecida implica caldeiras em tudo semelhantes às de vapor (e tratadas como iguais pela EN 12953 no que respeita a segurança), com a particularidade de estas necessitarem de grandes quantidades de energia para movimentação do fluido, o que também se verifica no caso de termofluido com a agravante do seu calor específico ser quase metade do da água.

Em virtude da pressão do vapor de água aumentar rapidamente com o aumento da temperatura, como já foi referido, em algumas unidades utiliza-se termofluido em vez de vapor. Os “termofluidos” podem ser usados, sem se deteriorarem, na gama dos -30 a 650 ºC, a pressões moderadas quando comparadas com as da água à mesma temperatura, e portanto recomenda-se a sua utilização sempre que há exigências processuais de temperaturas acima de 150 ºC. Dividem-se normalmente em 3 grupos - *óleos minerais*, *compostos orgânicos sintéticos* e *sais fundidos e metais*. Em muitas aplicações os "termofluidos" permanecem em fase líquida, como por exemplo, os óleos minerais e os compostos sintéticos que podem ser aquecidos a altas temperaturas em sistemas semelhantes aos de água quente a alta pressão mas funcionando a baixa pressão. Estes sistemas não requerem tratamentos especiais dos fluidos, nem recuperação de condensados, e são constituídos por uma simples rede de distribuição dando uma resposta rápida a mudanças de carga.

Os equipamentos de produção e utilização de calor, por meio de termofluido, não são considerados como recipientes de pressão e assim não são sujeitos à legislação de inspecções periódicas a que estão sujeitos, por exemplo, os geradores de vapor. Contudo, um sistema de "termofluido" implica conhecimento e atenção dos principais perigos, associados ao ponto de inflamação, temperatura de auto-ignição e toxicidade.

Pelo atrás exposto, facilmente se depreende que deve ser prestada uma atenção especial a todos os sistemas de produção e distribuição destes fluidos térmicos (vapor, água quente e termofluido), porque é normal haver aí perdas energéticas elevadas e consequentemente potenciais de economia de energia consideráveis. As linhas seguintes sintetizam as boas práticas e medidas eficientes que podem ser implementadas nesta área, tendo em vista a obtenção de economias de energia.

o *Geradores de calor*

Uma central térmica de uma unidade fabril, com geradores de calor como os referidos atrás, é um local onde se verificam grandes consumos de energia. Uma caldeira industrial típica apresenta normalmente uma eficiência de 75-80%, sendo 15-20% da energia consumida perdida nos gases de exaustão, 1% em perdas de calor por radiação e convecção através das respectivas paredes e, no caso dos geradores de vapor, 1-6% em perdas de calor através das purgas (que podem ser intermitentes ou contínuas, mas que em ambas as situações têm a finalidade de se ter sempre a água do gerador em condições apropriadas, ou seja evitando-se a formação de depósitos calcários). Assim, recomenda-se como boa prática para evitar desperdícios energéticos nos geradores de calor os seguintes princípios:

- No sentido da melhoria do rendimento, utilizar o número mínimo de caldeiras / geradores de calor cuja produção satisfaça o consumo, e sempre que possível instalá-las próximo dos locais de consumo mais relevantes.
- Não manter as caldeiras de reserva sob pressão, excepto se o padrão de consumo o exigir (aplicável apenas a geradores de vapor e de água quente, já que as caldeiras de termofluido não são consideradas como recipientes de pressão).

- Isolar as caldeiras de reserva fechando os registos para evitar perdas de calor. Os registos deverão estar em boas condições.

- Tentar ajustar antecipadamente a produção de calor às pontas de consumo. É bom não esquecer que, por exemplo, no que respeita às perdas de calor pelas paredes de um gerador, aquelas se mantêm constantes em valor absoluto para qualquer carga do gerador, e que para cargas reduzidas se verifica o seu aumento percentual (p. ex., as perdas expressas em % são 2 vezes mais elevadas a meia-carga do que à carga máxima e 5 vezes maiores para uma carga de cerca de 20% da carga nominal).

- Examinar com regularidade as condições de combustão, através de testes simples. Este exame consiste na medição dos teores de dióxido de carbono (ou oxigénio) e monóxido de carbono e da temperatura dos fumos. Com estes valores calcular as perdas pela chaminé e atendendo ao tipo de combustível. É de salientar que o eventual investimento necessário para a aquisição de um analisador de gases portátil, para a realização das medições atrás indicadas, é amortizável em menos de um ano, face às poupanças que possibilita.

- Minimizar o excesso de ar de combustão em toda a gama de taxas de queima e proceder à sua verificação regular (em simultâneo com os testes referidos atrás), de modo a manter constantes as condições de alimentação de ar e combustível ao equipamento de queima, evitando variações de pressão e de temperatura. A monitorização contínua dos teores de O_2 ou de CO_2 dos gases de exaustão pode ser efectuada através de um sistema de controlo contínuo, de forma a manter a relação correcta entre o caudal de ar de combustão e o de combustível. Estes sistemas de controlo do oxigénio permitem melhorias da eficiência energética da ordem de 1-4%.

- Fazer a conservação regular dos queimadores.

- Evitar em caldeiras de vapor a produção acima da sua capacidade nominal e também não permitir que seja excedida a taxa de ebulição (relação entre o vapor produzido em volume (m^3) e a superfície de separação (em m^2)) recomendada. (NOTA: Desta taxa depende em geral o "título" (grau de humidade) do vapor produzido e os seus limites são função da pressão de operação e da salinidade da água).

- Verificar, no caso das caldeiras de vapor, se o tempo de purga é excessivo, mas não o reduzir de tal modo que se torne insuficiente.

- Evitar a utilização de combustíveis com teores excessivos de humidade. Drenar a água acumulada em tanques de fuelóleo.

- Reduzir as perdas por inqueimados melhorando as condições de combustão. Evitar ocorrência de arrefecimento de chama por quantidades excessivas de ar, atomização e mistura insuficientes e outras causas de combustão incompleta. Nas caldeiras a combustível sólido manter boas condições de combustão na grelha e evitar o arrastamento de cinzas e inqueimados pelos gases de combustão.

- Limpar os tubulares e outras superfícies de permuta de calor das caldeiras com regularidade ou quando se atinge uma temperatura pré-determinada nos fumos. A limpeza deve ser completa.

- Manter em boas condições e utilizar correctamente os aquecedores de ar e economizadores. Verificar (no sentido de evitar) a ocorrência de qualquer sinal de corrosão. É de salientar que as maiores economias podem ser conseguidas à custa do aproveitamento da energia contida nos gases de combustão através da utilização de

permutadores, como os atrás referidos, que são os mais vulgarmente utilizados em geradores:

- Economizadores: utilizados em geradores de vapor para pré-aquecer a água de alimentação.
- Pré-aquecedores de ar: utilizados em qualquer gerador para pré-aquecer o ar de combustão.

Com combustíveis "limpos", praticamente sem enxofre (de que são exemplo os combustíveis gasosos), é possível levar os gases de combustão a temperaturas abaixo do respectivo ponto de orvalho, sem ocorrência de fenómenos de corrosão, pelo que nesses casos é possível a utilização de economizadores de condensação, que são mais eficientes, já que para além do calor sensível também aproveitam o calor latente de condensação dos gases de exaustão. Refira-se que um economizador que recupera apenas o calor sensível dos gases apenas consegue melhorar a eficiência do gerador em 4% (em termos médios), enquanto que com um economizador de condensação o rendimento do gerador ainda pode ser melhorado em mais 6%. (NOTA: Se a recuperação de calor for para pré-aquecimento do ar de combustão, isso melhora as condições de queima, o que permite por vezes trabalhar a mais baixos excessos de ar, o que contribui para o aumento do rendimento).

- Vedar todas as fendas, buracos, etc. nas caldeiras, de modo a evitar infiltrações de ar. Vedar também as portas de limpeza dos tubulares.
- Evitar condensações nas chaminés, em todas as condições de queima. Manter uma temperatura mínima de fumos de 150 ºC em combustíveis que contenham enxofre (ou 190 ºC no caso dos fuelóleos).
- Examinar com regularidade o estado de conservação dos isolamentos térmicos das caldeiras e da rede de tubagens. Os isolamentos das caldeiras modernas podem assegurar perdas por radiação inferiores a 1%, em situações de funcionamento do gerador à carga nominal, mas uma manutenção deficiente destes isolamentos pode originar o aumento daquelas perdas de calor.
- Instalar isolamento térmico no tanque de alimentação de água (e/ou de retorno de condensados) no caso de caldeiras de vapor.
- Fazer o tratamento adequado da água em caldeiras de vapor. Medir a quantidade de água de alimentação e evitar valores excessivos. Não purgar volumes de água das caldeiras superiores ao necessário e recuperar o calor sempre que possível (NOTA: Os valores típicos do período de retorno do investimento necessário situam-se entre 2 e 3 anos).
- Reduzir a quantidade de água de compensação (e portanto de purgas) em caldeiras de vapor, fazendo a recuperação máxima de condensados.
- Manter registos da Central Térmica de modo a possibilitar a identificação de tendências e de alterações das condições de produção de fluido térmico (vapor, água quente ou termofluido).
- Calcular semanalmente o quociente "produção de fluido térmico / consumo de combustível".

No que concerne ao **controlo da combustão**, deverá atender-se ao seguinte:

Os combustíveis são consumidos na(s) caldeira(s) para produzir vapor ou aquecer fluidos térmicos, e o controlo deste processo aumenta o rendimento do combustível e a consequente economia de energia. Logo, os objectivos do controlo e regulação do combustível deverão ser:

- o ajustamento da relação ar/combustível;
- a redução da temperatura dos fumos de saída;
- a redução ou a eliminação de combustível não queimado; e,
- a regulação contínua da potência para satisfazer as necessidades da fábrica.

Porém, a execução de medidas que visam um adequado controlo da combustão, tais como algumas indicadas atrás e outras, designadamente:

- o controlo periódico da combustão com um analisador portátil ou fixo;
- a limpeza e a regulação dos queimadores;
- a instalação de analisadores contínuos em grandes caldeiras de funcionamento ininterrupto, para regulação automática da relação ar/combustível, de acordo com as solicitações dos processos fabris; e,
- no caso de combustíveis líquidos, a sua filtragem quando se suspeita que possam conter impurezas;

depende da potência da caldeira, da intensidade do uso desta e da tecnologia de fabrico utilizada nos queimadores.

As economias médias que se obtêm através de um controlo adequado da combustão são normalmente de cerca de 5%, variando de acordo com o estado da(s) caldeira(s) e o tipo de sistemas de controlo e regulação instalados. O problema principal da instalação de elementos de controlo de combustão é quando os queimadores não são reguláveis e não podem por essa razão ser adaptados às necessidades de uma combustão correcta. A instalação de sistemas de controlo e regulação contínua requer unidades (caldeiras) com grande potência e elevado número de horas de operação, a fim de tornar viável esta medida dispendiosa.

Quando combustíveis líquidos, tais como fuelóleo e gasóleo, ou combustíveis sólidos são usados na combustão, então o controlo deve ser mais regular, porque estes combustíveis contêm impurezas, que podem dar origem a uma combustão não correcta.

Para uma melhor compreensão da importância da regulação e optimização da combustão numa caldeira, através do ajuste do respectivo sistema de alimentação de ar ao queimador e em que essa regulação deve ser efectuada de modo a que o excesso de ar de combustão na caldeira se situe num valor óptimo (que depende do tipo de combustível), de que resultará um acréscimo de rendimento da caldeira (com a correspondente economia de combustível), comparativamente à situação em que tais cuidados não são tidos em conta, vale a pena tecer aqui alguns comentários sobre estes aspectos, os quais deverão funcionar como um guia da combustão neste tipo de equipamentos para os técnicos/operadores responsáveis pelo funcionamento e manutenção dos mesmos.

Assim, no que se refere à regulação do excesso de ar de combustão deve atender-se a dois factores contraditórios:

- Por um lado, se o excesso de ar é pequeno o combustível é incompletamente queimado, aparecendo nos gases de combustão elementos não queimados, tais como o carbono, o hidrogénio, e mesmo hidrocarbonetos, ou incompletamente queimados como o monóxido de carbono. Isto significa perda de rendimento, uma vez que estes elementos, não tendo sido queimados no interior da câmara de combustão, não libertam a sua energia, que acaba por se perder sob a forma de calor latente nos gases de combustão.

Além disso, do carbono por queimar, só uma parte sai nos gases de combustão depositando-se o resto nas paredes da câmara de combustão, formando-se uma camada isolante que dificulta a transmissão de calor entre os gases quentes

e o fluido intermediário a aquecer. Contudo, esta situação não é muito frequente com combustíveis gasosos, a não ser que se verifique uma condução completamente descuidada da caldeira.

- Por outro lado, um grande excesso de ar dá origem a um maior arrefecimento da câmara de combustão, perdendo-se calor no aquecimento do ar em excesso.

Logo, o ponto óptimo da regulação da combustão corresponde a uma solução de compromisso entre estes dois factores. Assim, o excesso de ar deve ser o mínimo possível sem que apareçam nos gases de combustão CO ou carbono por queimar em quantidades significativas. Daqui resulta a necessidade da análise periódica dos gases de combustão a fim de se conseguir a regulação óptima. Esta análise consiste, geralmente, como já foi referido atrás, na determinação dos teores em CO_2 e/ou O_2 e CO e das quantidades de carbono (apenas nos caso de combustíveis sólidos ou líquidos) existentes nos gases de combustão.

Consoante o tipo de combustível queimado no gerador, assim varia o ponto óptimo de funcionamento. Este encontra-se geralmente entre os valores que se indicam no Quadro seguinte, para os combustíveis mais correntes.

Combustível	Gás Natural	GPL	Fuelóleo	Lenha
Excesso de ar de combustão	5 a 10 %	5 a 10 %	15 a 20 %	15 a 50%
Teor de CO_2	11,4 - 10,9 %	13,1 - 12,6 %	13,7 – 13,2 %	17,5 – 13,3 %
Teor de O_2	1,1 - 2,1 %	1,1 - 2,1 %	2,9 – 3,6 %	2,9 – 7,2 %
Teor de CO	< 200-300 ppm	< 200-300 ppm	0%	0%

Se o valor óptimo de O_2 (ou CO_2) não pode ser obtido sem excessivo teor de CO, então o equipamento de queima deverá ser examinado para se detectarem avarias ou distorções.

O excesso de ar mais ou menos elevado (dependendo do tipo de combustível), necessário ao bom funcionamento de um gerador de calor, advém do facto da câmara de combustão ser de paredes frias, pelo que se torna necessário que todo o combustível seja queimado antes de os gases de combustão em contacto com as paredes frias da câmara arrefeçam até ao ponto da reacção não poder continuar. Valores de excesso de ar superiores aos indicados atrás contribuem para o aumento da perda de energia nos fumos.

Outro dado, também muito importante, é o conhecimento da temperatura destes gases, constituindo um elemento imprescindível para a quantificação do rendimento da combustão. Aquela deverá ser a mais baixa possível, considerando-se normal um valor superior em cerca de 40 ou 50 ºC ao da temperatura do fluido que está a ser produzido ou aquecido no gerador (vapor ou água quente ou termofluido).

Neste sentido, as superfícies de permuta de calor entre os gases de combustão e o fluido intermediário devem encontrar-se o mais possível isentas de depósitos, sobretudo calcários e fuligem, pelo que no que respeita à câmara de combustão se deve procurar regular a combustão no sentido de evitar a formação de fuligem que se deposita dificultando a transferência de calor e, quanto à água (em geradores de vapor e de água quente) os depósitos calcários devem ser evitados através dum adequado tratamento da água de compensação introduzida no circuito fechado.

É de salientar que o controlo da temperatura e da composição dos gases de combustão deverá ser frequente. O acompanhamento da evolução da temperatura daqueles gases permite a verificação do estado das superfícies de permuta de calor, pelo que as caldeiras devem ser sujeitas a limpeza em função do aumento da temperatura dos fumos e não com base em períodos de tempo fixados.

Como já foi referido, para manter um bom nível de regulação torna-se necessário a utilização de um analisador de gases portátil, como rotina periódica (pelo menos, numa base quinzenal, ou seja, duas vezes por mês), para avaliação do estado de funcionamento das caldeiras. A necessidade de esta ser regulada periodicamente, através do ajuste do respectivo sistema de alimentação de ar ao queimador, resulta da progressiva modificação de alguns parâmetros de funcionamento, tais como:
- alteração das quantidades de ar primário e secundário;
- alterações dos parâmetros geométricos do queimador;
- chama mal centrada em relação à câmara de combustão.

É importante que para cada caldeira haja um registo periódico da temperatura e da composição dos gases de combustão, da sua pressão de serviço e/ou da temperatura do fluido produzido e da temperatura do ar de combustão e dos valores característicos do tratamento de água (no caso de geradores de vapor), o que permitirá conhecer o estado geral da caldeira e consequentemente actuar de forma a optimizar o seu funcionamento e a programar as operações de manutenção. Também o consumo de combustível nas caldeiras em operação deverá ser registado, para um mais fácil controlo de variações sazonais e/ou detecção de consumos anómalos, podendo até justificar-se a instalação de um contador de energia (para combustíveis líquidos ou gasosos) por caldeira em funcionamento.

É importante também que o rendimento térmico de cada caldeira, resultante das análises da combustão, seja determinado a partir de cálculos por via de fórmulas existentes e não pelos valores que são dados pelos próprios analisadores, resultantes de parametrizações que normalmente não têm em atenção as especificidades (características) próprias do combustível que se está a utilizar, ou que não têm em conta todas as perdas energéticas que se verificam num gerador de calor. Um exemplo dessas fórmulas de cálculo é o que se apresenta no **Anexo 2** do presente Relatório, para o **cálculo do rendimento térmico pelo método das perdas**.

Em alternativa a este método de cálculo do rendimento de uma caldeira pode recorrer-se ao chamado **método directo**, o qual fazendo uso da definição de **Rendimento (%) = (Energia Útil / Energia do combustível) x 100** obriga à medição das diversas grandezas em jogo (caudais e temperaturas dos fluxos energéticos envolvidos no balanço energético do equipamento em questão, ou então o cálculo ser feito por “software” próprio como o **COMB**.

Outro aspecto essencial de uma análise de combustão é o cálculo da percentagem de excesso de ar de combustão utilizado na caldeira. Este valor, determinado a partir da análise dos gases de combustão, pode ser obtido a partir de gráficos como os que se apresentam no **Anexo 3** ou de fórmulas, como a seguinte, válida para o caso em que o combustível é o gás natural:

$$\frac{\%\ \text{Excesso de ar}}{100} = \frac{2 \times W' - \beta'}{0{,}42 + 0{,}79 \times \beta' - 2\ W'} \times 0{,}905$$

com

$$W' = \frac{\%O_2}{100} \quad \text{e} \quad \beta' = \frac{\%CO}{100}$$

em que

$\%O_2$ = % em volume de O_2 presente nos gases de combustão (valor medido no analisador);

%CO = % em volume de CO presente nos gases de combustão (NOTA: O valor medido no analisador vem normalmente em unidades de **ppm.** Para passar de **ppm** para **%**, multiplicar o 1º valor por $\mathbf{10^{-4}}$).

No caso de outros combustíveis e em que não haja CO nos fumos (β' = 0), aquela expressão pode tomar a forma simplificada: **(% Excesso / 100) = W' / (0,21 – W')**

Realçados estes aspectos, importa agora chamar a atenção para outros tipos de medidas que também podem conduzir a economias de energia.

Assim, a utilização de **queimadores mais eficientes** também poderá ser uma solução a ter em consideração. A função do queimador é misturar o combustível e o comburente (normalmente ar), e deste modo tornar a combustão completa, e tirar o máximo proveito do poder calorífico do combustível.

A limpeza e a manutenção dos queimadores é um factor decisivo na obtenção de uma mistura completa do combustível e do comburente e assim optimizar a combustão.

Têm sido feitos aperfeiçoamentos na tecnologia de fabrico dos queimadores e actualmente existem modelos que podem funcionar a várias potências com um rendimento óptimo. Quando os queimadores não podem ser adaptados eficientemente à função com pré-aquecimento do ar de combustão, é recomendável a sua substituição sempre que há possibilidades de recuperação do calor dos gases da combustão à saída da caldeira para aquele fim.

Cada gerador térmico requer um equipamento de queima adaptado às suas características, pelo que, sempre que se procede à substituição de uma caldeira, ou à mudança do tipo de combustível, também deve ser mudado o queimador. Para o controlo contínuo da combustão, é essencial que o queimador esteja provido de mecanismos que permitam também a regulação contínua daquela. Se não for este o caso, dever-se-á proceder à substituição do queimador. As economias de combustível que se podem obter por substituição de queimadores obsoletos de baixo rendimento são normalmente não inferiores a 5%.

Outra medida que por vezes tem que ser considerada é a **substituição de caldeiras**. Numa determinada instalação industrial as necessidades de energia térmica asseguradas por caldeiras podem ser variadas. Tradicionalmente, nas fábricas onde existem estas utilidades, a solução tem sido a instalação de uma ou várias caldeiras, onde o vapor ou outro fluido intermediário é produzido para ser distribuído aos pontos de consumo onde é necessário. Daí que seja

importante que essas caldeiras estejam correctamente dimensionadas para suprir as necessidades que levam à sua instalação e com a mais elevada eficiência possível.

As técnicas de construção destes equipamentos têm sido constantemente aperfeiçoadas, tendo em vista o melhoramento da sua eficiência energética e a redução das necessidades de manutenção e limpeza. Não obstante este desenvolvimento constante, actualmente ainda existem algumas fábricas equipadas com caldeiras cuja eficiência energética é inferior ao que neste momento é considerado óptimo ou pelo menos aceitável.

Quando os fluidos produzidos na(s) caldeira(s) são utilizados para aquecimento, por via indirecta, por exemplo do ar de secagem de secadores ou de salas onde são expostos produtos, deve ser ponderado o recurso a outras tecnologias existentes, tais como a combustão directa de gás, cuja eficiência energética é muito mais elevada do que a de uma caldeira (ainda que esta solução também possa trazer inconvenientes, por exemplo, devido à profusão de pontos de queima). Por outro lado, as caldeiras ainda são indispensáveis para processos que utilizam vapor, e a única tecnologia que pode substituir a caldeira, e somente em grandes fábricas, é a cogeração, produzindo simultaneamente energia eléctrica e vapor.

A substituição de uma caldeira é muito dispendiosa, e não é na maioria das vezes economicamente viável sob o ponto de vista da mera economia de energia, devido ao longo período de retorno do investimento que envolve, donde se conclui que antes de ser decidida a sua implementação deverão ser tomadas preferencialmente outras medidas, como aquelas indicadas atrás, que a baixo custo melhoram a eficiência daquele equipamento. Outros factores que poderão favorecer a substituição da(s) caldeira(s) têm mais a haver com a possibilidade de redução dos custos de manutenção e limpeza, com a mudança do combustível a utilizar ou com o aumento da sua capacidade para adaptação às necessidades de produção.

As economias de energia que podem ser alcançadas através da substituição de caldeiras são tipicamente da ordem de 10% e o período de retorno típico dos investimentos necessários é de aproximadamente 4-5 anos.

Outros melhoramentos específicos, por exemplo em instalações de produção de vapor, poderão passar por uma desejável racionalização dos métodos de purga das caldeiras, de acordo com análises periódicas de salinidade, e o não desperdício do calor associado a purgas contínuas, que conduzirão certamente a economias de energia, sobretudo à custa de:

- Automatização de sistemas contínuos de salinidade através de instrumentos de medição contínua do teor de sólidos dissolvidos na água.
- No caso de sistemas de purga contínua, instalação de um permutador de calor entre a purga de água da caldeira e outros fluidos, tais como a água de alimentação da caldeira, ar de combustão, etc..
- Manutenção adequada, por recurso a equipamento de detecção de operações de purga incorrectas.

o *Redes de distribuição de fluidos térmicos (incluindo condensados)*

Estes aspectos, embora não tenham a ver com intervenções específicas nas caldeiras, têm repercussões nos consumos que se verificam nos geradores de calor, pelo que são referidos aqui a título indicativo. As redes de

distribuição de vapor ou de outro fluido intermediário de aquecimento e de retorno de condensados devem ser dimensionadas de modo a evitar as perdas de carga nas condutas e, no caso particular das de vapor, de modo a fazer chegar aquele fluido aos locais de consumo com as pressões e temperatura adequadas para o processo. Assim, tendo em vista a melhoria da eficiência nesta área, que conduzirá a economias de energia consideráveis nos referidos geradores de calor, é importante que sejam tidos em consideração os seguintes cuidados:

- Reduzir ao mínimo os comprimentos das redes de distribuição e retirar ou vedar eficazmente todas as secções não utilizadas.
- Isolar todas as superfícies quentes (com temperaturas superiores a 50 ºC), incluindo tubagens, flanges e válvulas, de modo a evitar significativas perdas de calor que representam desperdícios de energia (sendo os períodos típicos de retorno do investimento necessário da ordem de 1 - 2 anos) (NOTA: As perdas de calor que se verificam numa válvula não isolada são idênticas às que se verificam em 1 metro de tubagem, com o mesmo diâmetro, não isolada. As perdas de calor que se verificam numa flange não isolada são metade das que se verificam em 1 metro de tubagem, com o mesmo diâmetro, não isolada). Evitar que o isolamento acumule água ou se deteriore.
- Controlar os sistemas automaticamente. Utilizar as mais baixas temperaturas e pressões de distribuição adequadas à utilização.
- Fazer a drenagem correcta nas redes de vapor.
- Elaborar um plano de inspecção e conservação regular de todas as redes de distribuição, incluindo o exame às juntas, flanges e purgadores de vapor.
- Reparar imediatamente todas as avarias que ocorram nos sistemas de distribuição de calor, em particular as fugas. Por exemplo, uma fuga de vapor à pressão de 5 kg/cm^2 numa válvula, através de um orifício de 3 mm de diâmetro, durante 24 horas/dia e 250 dias/ano, equivale a um desperdício de cerca de 11 toneladas/ano de fuelóleo ou aproximadamente 9400 Nm^3/ano de gás natural. A manutenção no sentido de evitar estes desperdícios de energia deverá ser constante, recorrendo-se sempre que possível a equipamento que permita a sua detecção.
- Assegurar de que todas as redes se encontram isoladas das áreas não utilizadas, mesmo por períodos curtos. Considerar a instalação de sistemas de controlo temporizados.
- Instalar uma bomba refrigerada para introdução dos condensados nos geradores de vapor à pressão e temperatura de geração.
- Sempre que haja descargas de condensados quentes através de purgadores de vapor para colectores a pressões mais baixas, parte dos condensados transforma-se em vapor “flash” e quanto maior for a pressão inicial e menor a pressão final tanto maior será a produção desse vapor “flash”. Recuperar na medida do possível esse vapor “flash” (por via de tanque próprio e utilização do vapor produzido numa rede de vapor de baixa pressão, ou por arrefecimento abaixo de 100 ºC, muitas vezes em conjunto com condensados).
- Separar na medida do possível, o sistema de aquecimento do ambiente dos restantes serviços, para que seja possível desligá-lo no Verão.

A importância destas medidas de melhoramento das redes de fluidos térmicos, a exemplo das referentes às instalações de produção dos mesmos, no que se refere às suas repercussões nos consumos de energia, depende obviamente do estado das instalações e do uso a que estas se destinam. Em suma, dado que daí advêm normalmente economias não desprezáveis, deve ser prestada sempre uma atenção especial a estas redes de distribuição, particularmente no que concerne aos isolamentos térmicos das tubagens, à instalação de contadores (sobretudo em redes de vapor) para uma mais fácil identificação das ineficiências na utilização do fluido térmico na unidade fabril e a uma manutenção regular tendo em vista a eliminação de fugas e a reparação/conservação de isolamentos.

Recorrendo a sistemas de controlo de oxigénio, à instalação de economizadores, a uma boa manutenção (particularmente dos isolamentos) e ao ajuste adequado dos geradores aos consumos, será possível em muitos casos atingir melhorias da eficiência energética da ordem dos 10%. Os sistemas de distribuição de vapor, por exemplo, raramente são monitorizados em detalhe, e no entanto a implementação de práticas de exame regulares daqueles sistemas, aliadas a uma melhoria da manutenção e da utilização dos fluidos térmicos, pode proporcionar economias complementares da ordem dos 5%.

Embora já tenha sido referido que o aquecimento directo é geralmente mais eficiente do que o aquecimento indirecto por via de uma central térmica com geradores de calor, deve-se ter presente que nem sempre é possível a conversão das instalações existentes do segundo tipo por outras de aquecimento directo. Esta é uma área bastante complexa, em que cada instalação requer uma análise individual, e em que muitas unidades fabris não justificam essa conversão ou alteração tecnológica face aos avultados investimentos feitos nas instalações e equipamentos já existentes.

ANEXO 2 – DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA TÉRMICA DE CALDEIRAS PELO MÉTODO DAS PERDAS

De seguida apresenta-se um conjunto de equações básicas que permitem o cálculo do rendimento térmico de caldeiras pelo chamado método das perdas. Este método e respectivas equações são aplicáveis a todos os tipos de caldeiras e de combustíveis, tendo por base o Poder Calorífico Inferior (PCI) do combustível.

a) Perdas associadas ao combustível nas cinzas volantes (P_{cv})

$$P_{cv} = \frac{A \times F_{ci} \times C_{cc} \times 33\,820 \times 100}{(1 - C_{cc}) \times PCI}$$

(aplicável só a combustíveis sólidos)

em que

- Pcv = perdas associadas ao combustível nas cinzas volantes (%)
- A = fracção em peso de inertes no combustível (com base na sua composição às condições de queima)
- F_{ci} = fracção em peso das cinzas volantes em relação ao total de inertes do combustível
- C_{cc} = fracção em peso do combustível nas cinzas volantes
- PCI = Poder Calorífico Inferior do combustível nas condições de queima (kJ/kg)

b) Perdas associadas ao combustível nas cinzas de fundo (P_{cf})

Usar a equação anterior, substituindo cinzas volantes (cv) por cinzas de fundo (cf).

(também aplicável só a combustíveis sólidos)

c) Perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão (P_{gc})

$$P_{gc} = \frac{K \times (T_g - T_a) \times [\,1 - (P_{cv} + P_{cf}) / 100\,]}{CO_2}$$

em que

- P_{gc} = perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão (%)
- T_g = temperatura dos gases de combustão à saída da caldeira (ºC)

T_a = temperatura do ar de combustão à entrada da caldeira (ºC)

P_{cv} e P_{cf} = perdas já referidas anteriormente (apenas aplicável a combustíveis sólidos)

CO_2 = % em volume de CO_2 presente nos gases de combustão

K = constante que depende do combustível utilizado

Valores de K para cálculos com base no PCI:

Combustível	**Valor de K**
Carvão betuminoso	0,66
Gasóleo	0,51
"Thick", "thin" e "burner" óleos	0,54
GPL (Propano)	0,45
Gás Natural	0,395

Os valores de K podem ser calculados para qualquer combustível, usando a fórmula:

$$K = (255 \times C) / PCI$$

em que

C = % em peso de carbono presente no combustível (nas condições de queima)

PCI = Poder Calorífico Inferior do combustível nas condições de queima (kJ/kg)

Quando a análise dos gases de combustão inclui a medição de oxigénio (O_2) em vez de dióxido de carbono (CO_2), é possível calcular o teor de CO_2 da seguinte forma:

$$CO_2 = (1 - O_2 / 21) \times CO_2t$$

em que

CO_2t = % CO_2 máxima teórica nas condições estequiométricas (excesso de ar igual a zero)

Exemplos de valores de CO_2 teóricos nos gases de combustão:

Combustível	**% de CO_2t nos gases secos**
Bagaço	20,3
Madeira	19,9
"Thick", "thin" e "burner" óleos	15,8
Gasóleo	15,5
GPL (Propano)	13,8
Gás Natural	12,1

Em alternativa, para os combustíveis essencialmente constituídos por carbono e hidrogénio, pode ser usada a seguinte equação:

$$CO_2t = \frac{[(C / 12) \times 100]}{[(4,78 \times C) / 12) + (1,89 \times H) / 2]}$$

em que

C = % em peso de carbono no combustível

H = % em peso de hidrogénio no combustível

d) Perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases de combustão (P_{H2O})

$$P_{H2O} = \frac{(m_{H2O} + 9\,H) \times (210 - 4{,}2 \times T_a + 2{,}1 \times T_g)}{PCI}$$

em que

P_{H2O} = perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases de combustão (%)

m_{H2O} = % em peso da humidade no combustível nas condições de queima (%)

H = % em peso de hidrogénio no combustível nas condições de queima (%)

T_a = temperatura do ar de combustão (ºC)

T_g = temperatura dos gases de combustão à saída da caldeira (ºC)

PCI = Poder Calorífico Inferior do combustível nas condições de queima (kJ/kg)

Exemplos de teores de hidrogénio e humidade:

Combustível	**% em peso de hidrogénio**	**% em peso de humidade**
Coque	2,0	2,0
Antracite	3,0	1,0
Carvão betuminoso	4,0	7,0
Gasóleo	13,0	-
“Thick”, “thin” e “burner” óleos	11,5	-
GPL (Propano)	18,2	-
Gás Natural	21,6	-
Turfa	6,4	20,0
Madeira	6,8	15,0

e) Perdas associadas a inqueimados nos gases de combustão (P_{CO})

$$P_{CO} = \frac{K \times (CO) \times [\,1 - 0{,}01 \times (P_{cv} + P_{cf})\,]}{(CO) + (CO_2)}$$

em que

P_{CO} = perdas associadas a inqueimados nos gases de combustão (%)

P_{cv} e P_{cf} = perdas de combustível nas cinzas (p/ combustíveis sólidos) (%)

CO = teor de monóxido de carbono nos gases de combustão (% em vol.)

CO_2 = teor de dióxido de carbono nos gases de combustão (% em vol.)

K = constante que depende do combustível utilizado

Combustível	Valor de K
Carvão betuminoso	63
Gasóleo	53
"Thick", "thin" e "burner" óleos	54
GPL (Propano)	48
Gás Natural	35,5

f) Perdas por radiação, convecção e outras perdas não-contabilizáveis nas caldeiras (P_r)

As perdas a seguir apresentadas, para os vários tipos de caldeiras, são consideradas correctas quando as caldeiras funcionam à capacidade máxima. Nos casos das caldeiras se encontrarem abaixo dos regimes máximos de operação, pode considerar-se que as perdas variam na proporção inversa da razão entre o consumo actual de combustível e o consumo que se verifica à capacidade máxima.

Combustível	Perdas à capacidade nominal (% P_r)
Caldeiras de tubos de água e de tubos de fumo com capacidade igual ou acima de 5 MW	1,4
Caldeiras de tubos de água e de tubos de fumo com capacidade entre 2 e 5 MW	1,6
Caldeiras de tubos de água e de tubos de fumo com capacidade abaixo de 2 MW	2,0
Caldeiras de refractário, caldeiras de tubos de fumo com topo seco e caldeiras com soleira de refractário	3,0
Caldeiras de água quente em ferro fundido	4,5

g) **Perdas associadas às purgas** (apenas aplicáveis às caldeiras de vapor) **(P_p)**

$$P_p = \frac{(T_p - T_{H2O}) \times (p) \times (100 - EP)}{(T_p - T_{H2O}) \times (p) + [100 - (p)] \times (660 - T_{H2O})}$$

em que

P_p = perdas de calor associadas às purgas (%)

T_P = temperatura das purgas, medida após qualquer recuperação de calor existente (ºC)

T_{H2O} = temperatura da água de alimentação à caldeira (ou à entrada do economizador, no caso de existir) (ºC)

(p) = % das purgas em relação ao total de água de alimentação da caldeira (incluindo qualquer produção de vapor “flash”)

EP = somatório de todas as outras perdas referidas nas equações anteriores, isto é, perdas nos gases de combustão, cinzas, etc.

h) **Eficiência térmica com base no PCI (E)**

E = 100 – (somatório de todas as perdas)

em que

E = Eficiência térmica

ANEXO 3 – GRÁFICOS PARA DETERMINAÇÃO DO EXCESSO DE AR DE COMBUSTÃO

Os Gráficos que se apresentam a seguir permitem a determinação do excesso de ar de combustão (% Excesso de ar / 100) a partir da composição (teor em O_2 ou CO_2) dos gases de combustão, para os combustíveis mais correntes. Em alternativa, pode recorrer-se às fórmulas de cálculo apresentadas no **Anexo 1**.
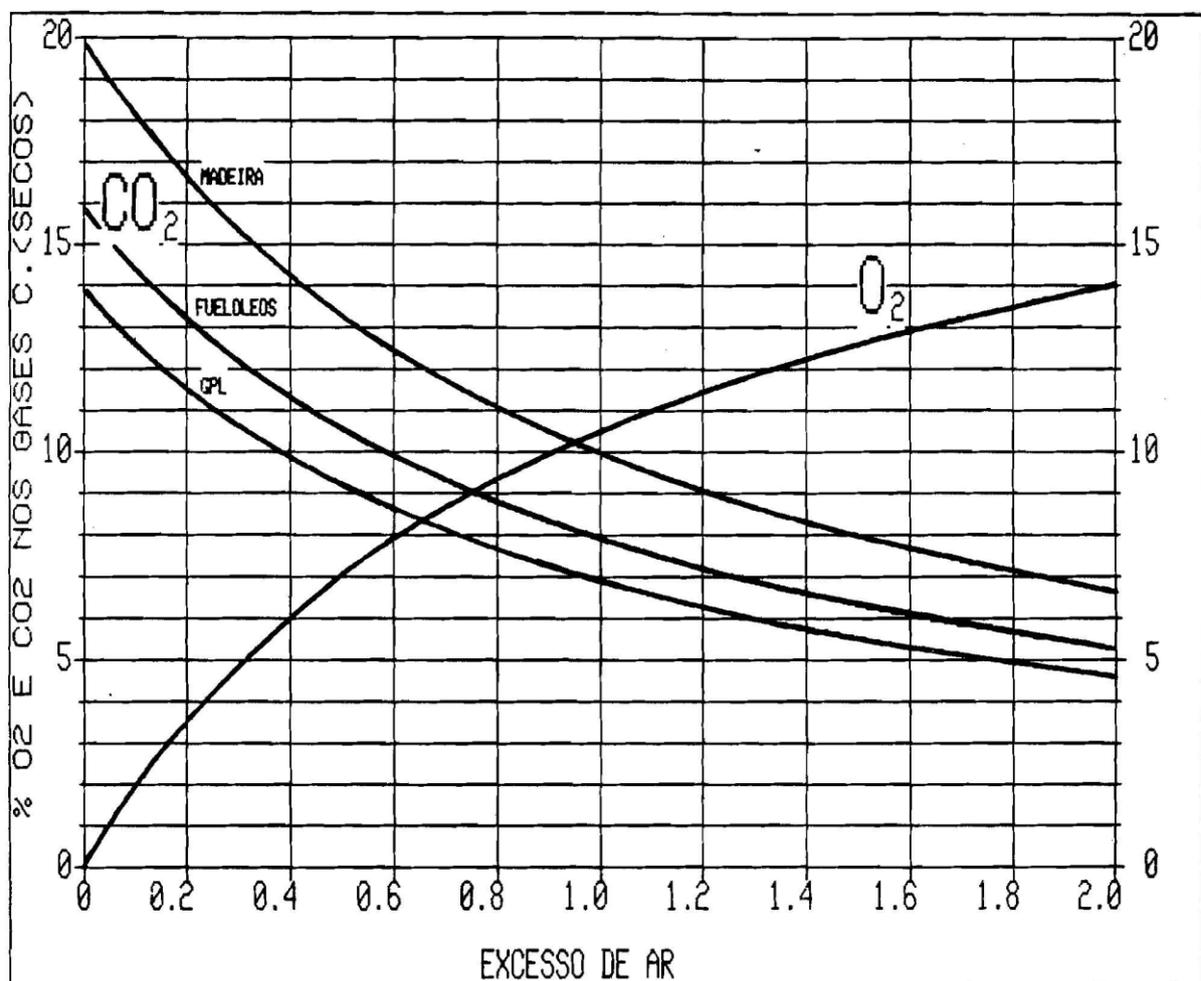
Figura A3.1 – Gráfico da Combustão para alguns dos Combustíveis Industriais mais correntes.
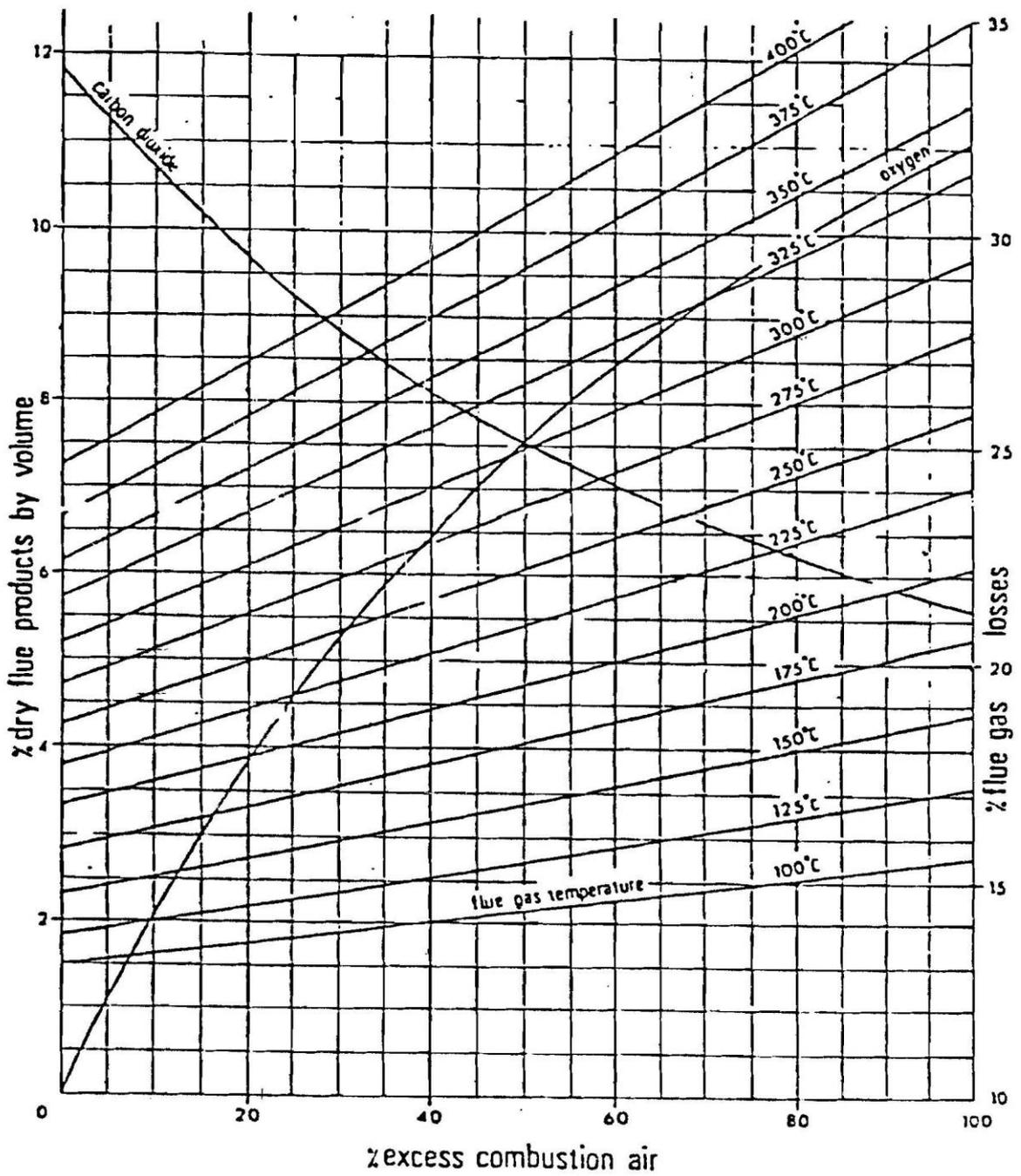
Figura A3.2 – Gráfico semelhante ao anterior, desta feita para o Gás Natural e que também permite a estimativa da percentagem de perdas de calor nos fumos (com base no PCS e numa temperatura ambiente de 20 ºC).